

## ANALISIS SIKLUS KOMBINASI TERHADAP PENINGKATAN EFFISIENSI PEMBANGKIT TENAGA

Sudiadi <sup>1)</sup>, Hermanto <sup>2)</sup>

**Abstrak :** Suatu Opsi untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar pada power plant adalah dengan merecovery panas sisa yang keluar dari siklus turbin gas yang dimanfaatkan untuk memproduksi uap. Uap yang diproduksi digunakan untuk meningkatkan daya pada siklus diatas. Sebagian kecil ekspansi terjadi pada tingkat pertama turbin diperlukan untuk diextract untuk meningkatkan air pengisi. Semakin tinggi temperatur air pengisi, semakin kecil heat boiler area. Penambahan daya yang dibangkitkan pada siklus kombinasi pada power plant, sebagai hasil dari recovery panas buang adalah : 27,5 MW dan peningkatan efisiensi thermal sebesar 30% hingga 41 %.

**Abstract:** One option for increasing in fuel-use efficiency in a power plant is to recovered waste heat leaving the topping cycle (gas turbine) for producing steam. The steam produced is used to generate power in the bottoming cycle. The small amount of steam expanding in the first stage turbine need to be extracted in order to increase the feed water temperature. The higher the feed water temperature the smaller the waste heat boiler area. The additional power generated in combined cycle power plant, as a result of recovering the waste heat, is 27.5 MW. In addition, the thermal efficiensi of the power plant increase from 30% to 41%.

**Keyword:** Topping cycle, bottoming cycle, combined cycle, thermal efficiency.

### PENDAHULUAN

Pemanfaatan gas buang (*waste heat*) dari turbin gas perlu dilakukan sebagai usaha untuk menurunkan temperatur gas buang ke lingkungan. Selain itu gas buang tersebut dapat dimanfaatkan untuk memanaskan air pengisi (*feed water*) pada pembangkit tenaga uap sehingga dapat menurunkan tingkat pemakaian bahan bakar pada ketel uap (*boiler*). Umumnya siklus kombinasi terdiri dari kombinasi:

- a. Turbin gas dan turbin uap, atau
- b. Motor bakar dengan siklus Rankin organik

Penelitian ini difokuskan pada turbin gas sebagai sumber gas buang dan ketel uap tipe *U-tube* horizontal sebagai bagian yang memanfaatkan gas buang tersebut untuk menghasilkan uap, yang selanjutnya dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin uap. Kombinasi turbin gas dan ketel uap disebut siklus kombinasi. Kombinasi turbin gas dan pembangkit tenaga uap (ketel dan turbin uap) dikenal sebagai siklus kombinasi (*combined cycle*). Siklus kombinasi terdiri dari dua bagian, yaitu *topping cycle* yang mencakup siklus turbin gas yang berfungsi mensuplai gas dan

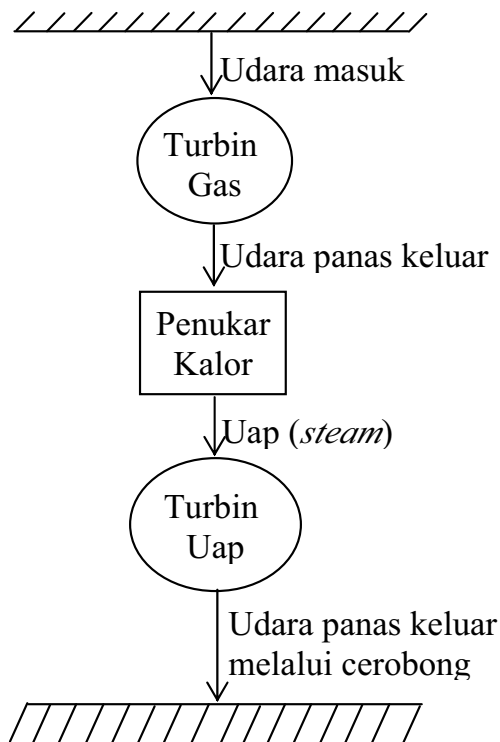
---

(1) Dosen Program Studi Sistem Informas, STMIK Global Informatika MDP ([sudiadi@stmik-mdp.net](mailto:sudiadi@stmik-mdp.net))

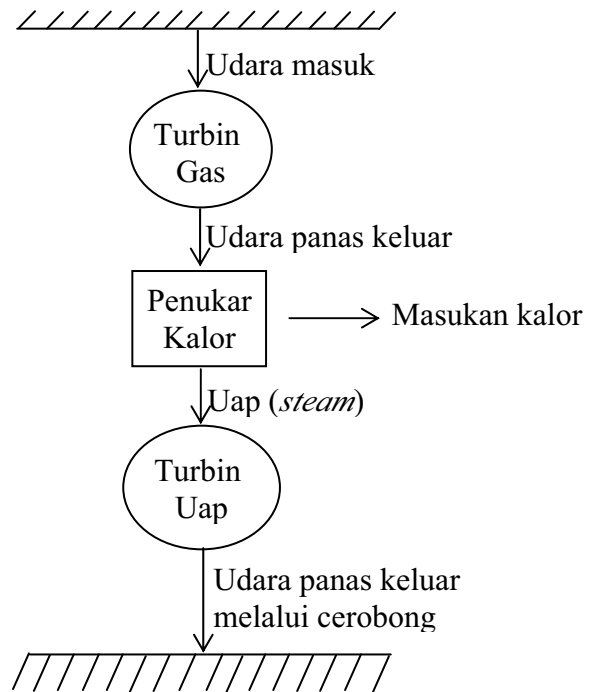
(2) Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tridinanti Palembang.

*bottoming cycle* mencakup ketel uap dan turbin uap yang memanfaatkan gas buang untuk memanaskan air pada ketel uap (*boiler*).

Secara garis besar pembangkit tenaga siklus kombinasi terdiri dari pembangkit tenaga tanpa kalor tambahan dan dengan kalor tambahan. Pembangkit tenaga tanpa kalor tambahan berarti sumber kalor *bottoming cycle* hanya bersumber dari *topping cycle*. Sedangkan pembangkit yang menggunakan kalor tambahan berarti selain masukan kalor dari gas buang *topping cycle* terdapat sejumlah kalor yang dimasukkan kedalam *bottoming cycle*. Skema dari pembangkit tenaga siklus kombinasi tanpa masukan kalor tambahan ditunjukkan pada Gambar 1. Gas buang dari *topping cycle* dialirkan secara langsung ke ketel uap untuk membangkitkan uap (*steam*) di *bottoming cycle*.



Gambar 1. Skema dari pembangkit tenaga siklus kombinasi



Gambar 2. Skema dari pembangkit tenaga siklus kombinasi dengan masukan kalor tambahan

## TERMODINAMIKA SIKLUS KOMBINASI

Efisiensi maksimum dari suatu pembangkit tenaga ditunjukkan oleh efisiensi Carnot ( $\eta_c$ ),

$$\eta_c = \frac{T_w - T_k}{T_w}$$

dengan  $T_w$  = Temperatur energi yang disuplai  
 $T_k$  = Temperatur Lingkungan pembangkit tenaga

Efisiensi Carnot hanya dapat dicapai jika pada suatu pembangkit tenaga tidak terdapat kerugian-kerugian. Akan tetapi kerugian adalah hal yang tidak dapat dihindari, sehingga tidak mungkin dapat membangun suatu pembangkit tenaga, jenis apapun, yang dapat mencapai efisiensi Carnot. Hal ini berarti efisiensi suatu pembangkit tenaga selalu lebih rendah dari efisiensi Carnot.

Secara umum terdapat dua jenis kerugian pada pembangkit tenaga, yaitu kerugian energi

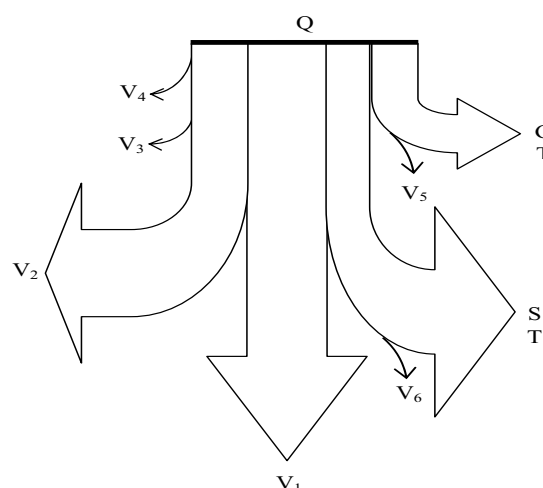
dan kerugian energi. Kerugian energi adalah kerugian yang diakibatkan adanya kehilangan kalor (*heat losses*) melalui radiasi dan konveksi. Sedangkan kerugian exergi adalah kerugian yang terjadi pada proses internal, yaitu terjadinya proses tak mampu balik (*irreversible*) sesuai dengan hukum Termodinamika Kedua.

Dengan memperhatikan jenis kerugian tersebut diatas, maka kerugian dapat ditekan dengan cara meningkatkan temperatur pada siklus dan menurunkan serendah mungkin temperatur gas buang. Akan tetapi teknologi yang ada saat ini belum memungkinkan untuk dapat memenuhi kedua hal tersebut. Usaha yang paling memungkinkan untuk meningkatkan efisiensi pembangkit tenaga adalah dengan mengkombinasikan pembangkit tenaga gas dengan pembangkit tenaga uap. Pembangkit tenaga gas (*topping cycle*) berfungsi untuk mensuplai gas buang ke pembangkit tenaga uap (*bottoming cycle*).

Pada siklus turbin gas, temperatur gas yang dimasukkan berkisar antara 950 -1000 K. Sedangkan temperatur gas buang berkisar antara 500 – 550 K. Temperatur gas buang tersebut masih cukup tinggi. Pada pembangkit tenaga uap temperatur uap yang masuk ke turbin yang menggunakan pemanasan ulang (*reheat*) berkisar antara 640 – 700 K, sedangkan turbin uap yang tidak menggunakan pemanasan ulang berkisar antara 550 – 630 K. Kalor yang dilepas ke atmosphere antara 320 – 350 K. Karena temperatur gas buang dari pembangkit tenaga gas tidak jauh berbeda dari temperatur uap yang disuplai ke pembangkit tenaga uap, maka gas buang dapat dipergunakan untuk memanaskan air pengisi menjadi uap.

Sebagian energi dalam bentuk kalor yang masuk ke pembangkit tenaga siklus kombinasi akan dikonversi menjadi energi listrik. Sedangkan sebagian lagi merupakan kerugian, baik kerugian dalam bentuk energi maupun

exergi. Kerugian-kerugian (*losses*) yang terdapat pada pembangkit tenaga siklus kombinasi ditunjukkan pada Gambar 3. Umumnya kerugian-kerugian, baik energi maupun exergi, terjadi pada kondensor, cerobong pada turbin itu sendiri.



**Gambar 3. Diagram Alir Energi Pembangkit  
Tenaga Uap Siklus Kombinasi**

Q = Masukan kalor

$$V_1 = \text{Kerugian kalor pada kondensor}$$
$$V_2 = \text{Kerugian kalor pada cerobong}$$
$$V_3 = \text{Kerugian akibat radiasi pada ketel uap (boiler)}$$
$$V_4 = \text{Kerugian pada } bypass \text{ gas buang}$$
$$V_5 = \text{Kerugian di generator dan radiasi pada turbin gas}$$
$$V_6 = \text{Kerugian di generator dan radiasi pada turbin uap}$$
$$GT = \text{Energi listrik yang dihasilkan pada turbin gas}$$

ST = Energi listrik yang dihasilkan pada turbin uap

## EFISIENSI PEBANGKIT TENAGA SIKLUS KOMBINASI

Secara umum efisiensi termal pembangkit tenaga siklus kombinasi yang menggunakan masukan kalor ditunjukkan persamaan berikut.

$$\eta_k = \frac{P_{GT} + P_{ST}}{Q_{GT} + Q_{SF}} \quad (1)$$

Efisiensi Turbin Gas ( $\eta_{GT}$ )

$$\eta_{GT} = \frac{P_{GT}}{Q_{GT}} \quad (2)$$

Efisiensi Turbin Uap ( $\eta_{ST}$ )

$$\eta_{ST} = \frac{P_{GT}}{Q_{SF} + Q_{Exh}} \quad (3)$$

Gas buang dari turbin gas ( $Q_{Exh}$ )

$$Q_{Exh} = Q_{GT}(1 - \eta_{GT}) \quad (4)$$

Substitusi persamaan (4) ke persamaan (3), didapat:

$$\eta_{ST} = \frac{P_{ST}}{Q_{SF} + Q_{GT}(1 - \eta_{GT})} \quad (5)$$

Substitusi persamaan (5) dan (2) ke persamaan (1), didapat:

$$\begin{aligned} \eta_k &= \frac{\eta_{GT} Q_{GT} + \eta_{ST} Q_{SF} + \eta_{ST} Q_{GT}(1 - \eta_{GT})}{Q_{SF} + Q_{GT}} \\ &= \frac{\eta_{GT} Q_{GT} + \eta_{ST}(Q_{SF} + Q_{GT}(1 - \eta_{GT}))}{Q_{SF} + Q_{GT}} \quad (6) \end{aligned}$$

Jika perbandingan kalor yang disuplai terhadap gas buang topping cycle =  $\alpha$ , dengan kisaran nilai  $\alpha = 0$  sampai dengan 1. Nilai  $\alpha = 0$  menunjukkan bahwa pembangkit tenaga kombinasi tidak menggunakan kalor masuk sebagai tambahan kalor yang didapat dari gas buang turbin gas.

$$\frac{Q_{SF}}{Q_{GT}} = \alpha \rightarrow Q_{SF} = \alpha Q_{GT} \quad (7)$$

Substitusi persamaan (6) ke persamaan (7), didapat:

$$\begin{aligned} \eta_k &= \frac{\eta_{GT} Q_{GT} + \eta_{ST}(\alpha Q_{GT} + Q_{GT}(1 - \eta_{GT}))}{\alpha Q_{GT} + Q_{GT}} \\ &= \frac{\eta_{GT}(\alpha + 1 - \eta_{GT})}{\alpha + 1} \quad (8) \end{aligned}$$

Persamaan (8) adalah persamaan untuk menghitung efisiensi termal pembangkit tenaga kombinasi yang menggunakan masukan kalor tambahan. Jika  $\alpha = 0$ , maka persamaan (8) menjadi:

$$\eta_k = \eta_{GT} + \eta_{ST}(1 - \eta_{GT}) \quad (9)$$

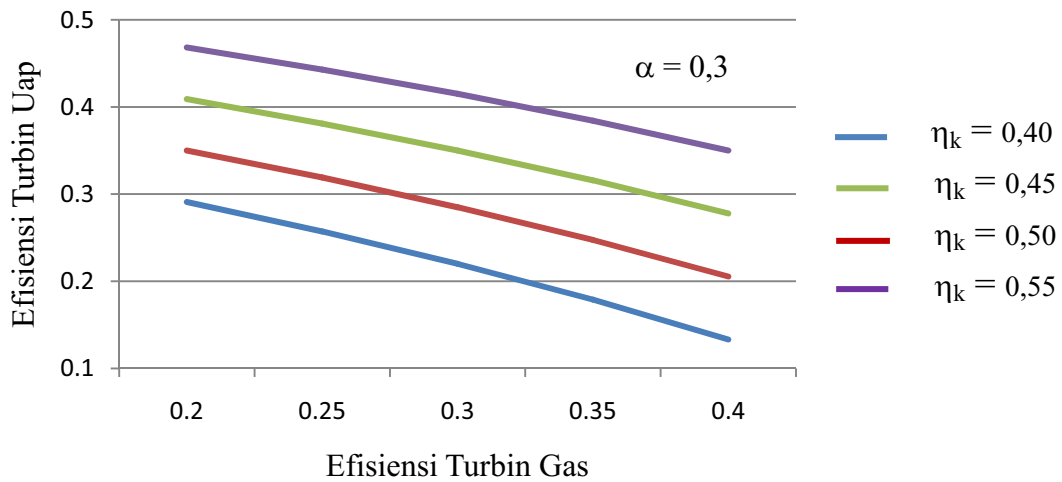
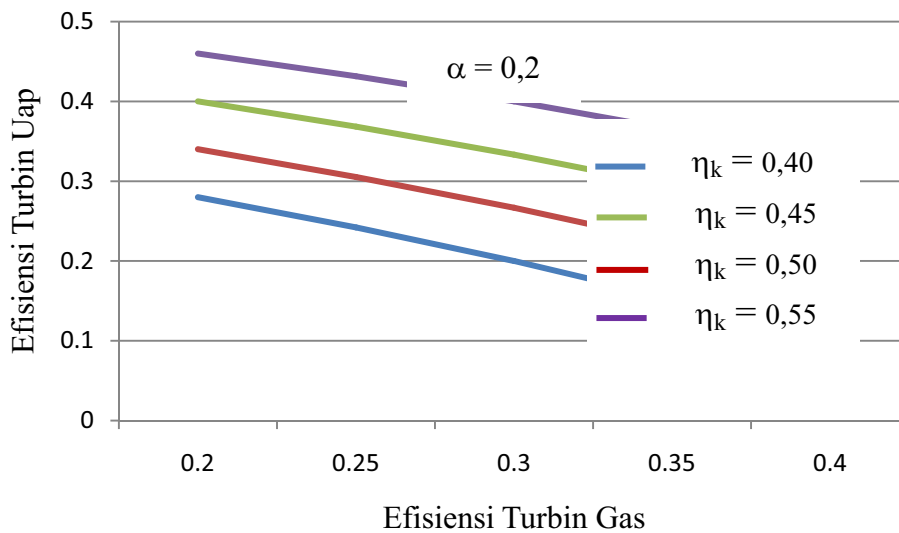
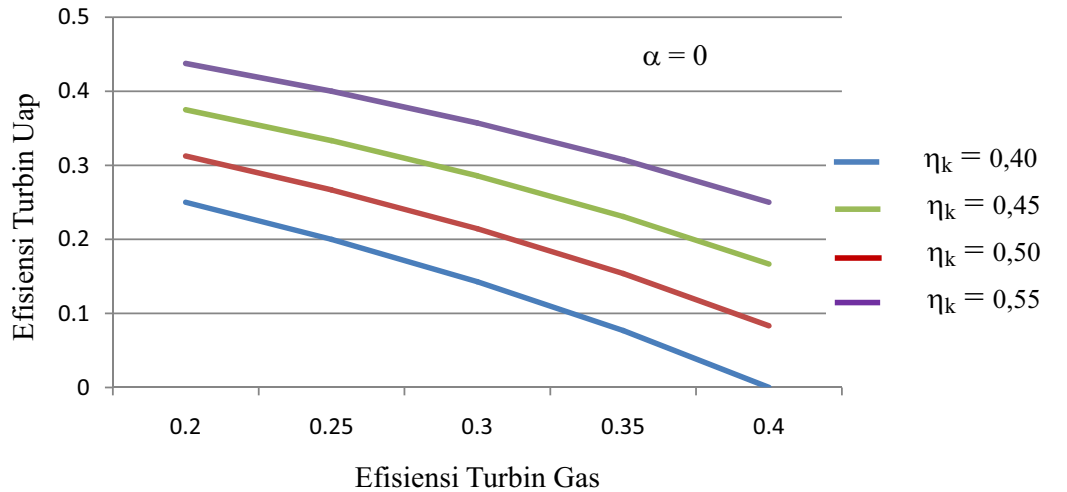
Persamaan (9) digunakan untuk menghitung efisiensi termal pembangkit tenaga siklus kombinasi tanpa menggunakan masukan kalor.

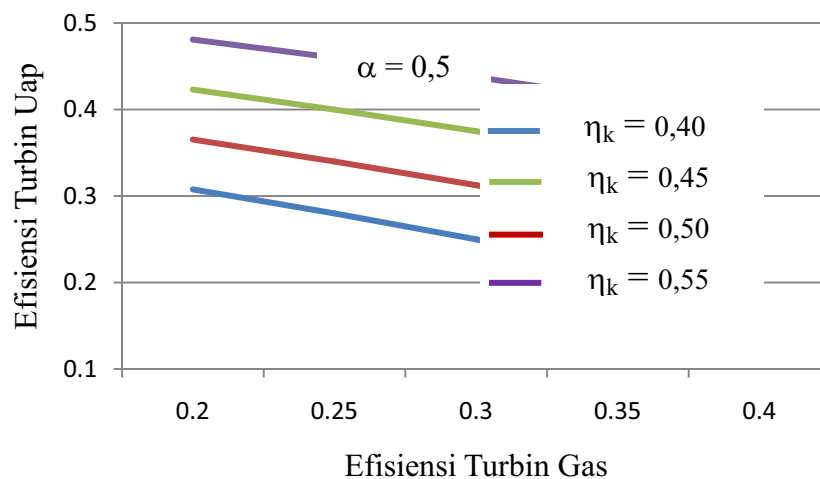
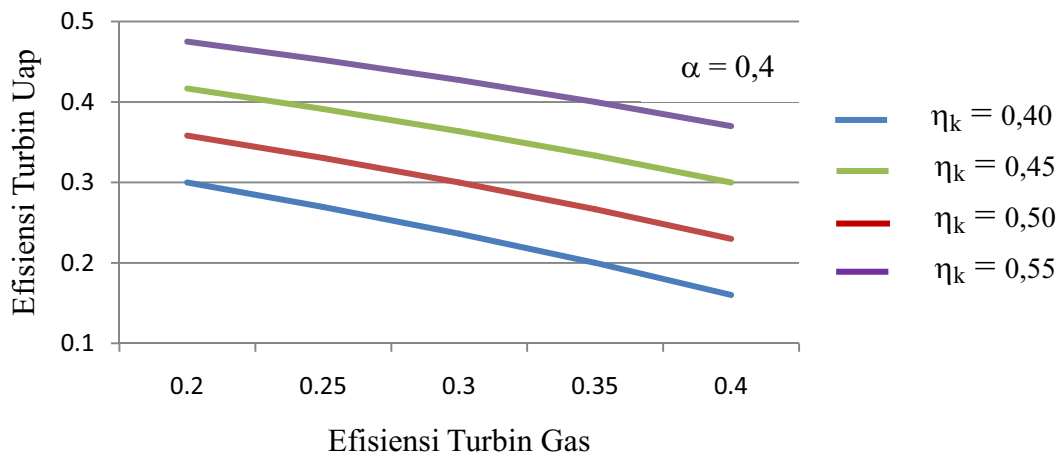
## HASIL PERHITUNGAN

Perhitungan efisiensi pembangkit tenaga siklus kombinasi dilakukan terhadap efisiensi turbin gas ( $\eta_{GT}$ ), efisiensi turbin uap ( $\eta_{ST}$ ) dan rasio kalor yang disuplai terhadap jumlah kalor gas buang dari turbin gas ( $\alpha$ ). Hasil perhitungan ditunjukkan pada grafik berikut. Nilai  $\alpha$  yang digunakan berkisar antara 0 s.d. 0,5.

Perhitungan efisiensi pembangkit tenaga siklus kombinasi dilakukan terhadap efisiensi turbin gas ( $\eta_{GT}$ ), efisiensi turbin uap ( $\eta_{ST}$ ) dan rasio kalor yang disuplai terhadap jumlah kalor gas

buang dari turbin gas ( $\alpha$ ). Hasil perhitungan ditunjukkan pada grafik berikut. Nilai  $\alpha$  yang digunakan berkisar antara 0 s.d. 0,5.





## KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin tinggi nilai perbandingan kalor yang disuplai terhadap gas buang dari turbin gas ( $\alpha$ ), akan didapat efisiensi pembangkit tenaga siklus kombinasi yang tinggi.
2. Pemanfaatan gas buang dari turbin gas akan menurunkan temperatur gas buang ke udara luar. Hal ini merupakan langkah positif sebagai usaha menjaga lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus A, Thermodynamics, ISBN 0-07-113249-X, McGraw-Hill, Inc., 1994
- Kehlhofer, Rolf, *Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plant*, The Fairmiont Press, Inc., 1991
- Universal Silencer, Noise Control and air filtration solutions, Combined Cycle System For the Utility Industry, <http://www.universalaet.com/docs/combined-cycle-systems-jbc.pdf>, diakses 7 September 2011